



Universidade de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



O efeito das substituições no comportamento tático e no rendimento físico dos jogadores profissionais de futebol de alto rendimento.

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre em Treino de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Ricardo Filipe Lima Duarte

Coorientador: Professor Doutor Hugo Miguel Cardinho Alexandre Folgado

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Anna Georgievna Volossovitch

Vogais

Professor Doutor Luís Pedro Camelo Vilar

Professor Doutor Ricardo Filipe Lima Duarte

Sérgio Maurício Querido

2016

*“Cada novo amigo que ganhamos
no decorrer da vida aperfeiçoa-nos e
enriquece-nos, não tanto pelo que nos
dá, mas pelo que nos revela de nós mesmos.”*

Miguel de Unamuno y Jugo

Sem vós, amigos, isto não seria possível!
Todo o esforço e dedicação empenhados nesta obra, a vós dedico:
Meus amigos pais!

Índice

	Página
Resumo	1
I - Introdução	2
<i>Amostra</i>	<i>9</i>
<i>Recolha de Dados</i>	<i>10</i>
<i>Variáveis</i>	<i>11</i>
<i>Análise dos Dados</i>	<i>15</i>
III – Resultados	16
IV - Discussão.....	23
<i>Hipótese 1- O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substituídos variam significativamente entre o período inicial do jogo e o período imediatamente anterior à substituição</i>	<i>23</i>
<i>Hipótese 2 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente face aos jogadores substituídos.</i>	<i>25</i>
<i>Hipótese 3 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos são significativamente diferentes dos jogadores da mesma posição que permanecem em campo.</i>	<i>26</i>
<i>Hipótese 4 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente em relação aos períodos em que estes jogam na qualidade de titulares.</i>	<i>27</i>
<i>Hipótese 5 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos dois jogadores posicionalmente mais próximos ao jogador substituído/substituto variam significativamente com a substituição.</i>	<i>28</i>
V – Conclusões	30
Referências	32

Tabelas

Página

Tabela 1 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como médio centro, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.	16
Tabela 2 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como extremos, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.	20
Tabela 3 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como avançados, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.	21

Figuras

	Página
Figura 1 – Categorização do posicionamento geral dos jogadores	10
Figura 2 – Representação da distribuição espacial de um jogador, da posição de médio centro, próximo ao jogador substituído/substituto, nos 15 minutos antes (painel da esquerda) e nos 15 minutos após (painel da direita) a substituição. As setas representam o sentido do ataque. A gradação de cor indica as zonas de maior densidade dos deslocamentos.....	18
Figura 3 – Representação da série temporal da distância ao <i>locus</i> de referência espacial de um jogador, da posição de médio centro próximo ao jogador substituído/substituto, nos 15 minutos antes (linha preta) e nos 15 minutos após (linha cinza) a substituição.	18

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o impacto das substituições no comportamento tático e no rendimento físico de jogadores profissionais de futebol da primeira liga inglesa. Foram analisadas 40 substituições diretas de jogadores das posições de médios centro, extremos e avançados, ocorridas durante a segunda parte dos jogos. Para captar o comportamento tático individual dos jogadores foram utilizadas duas variáveis compostas: a variação da distância de cada jogador ao seu *locus* de referência espacial e a distribuição espacial dos deslocamentos de cada jogador (*heat map*). A partir destas variáveis foram calculadas a média, desvio padrão e coeficiente de variação, assim como duas medidas de entropia – que permitem mensurar a regularidade e a variabilidade/imprevisibilidade do comportamento tático individual de cada jogador. Para captar o rendimento físico dos jogadores foi utilizada a distância total percorrida e a distância percorrida em cinco categorias de intensidade. Os médios centro e os avançados substituídos apresentaram uma diminuição da imprevisibilidade no período inicial do jogo comparativamente com o período anterior à substituição. Foi também evidente a tendência para ocorrer uma diminuição do rendimento físico nos jogadores substituídos entre o período inicial de jogo e o período imediatamente anterior à substituição. Da mesma forma, para os médios e os extremos, os jogadores quando entraram na qualidade de substitutos apresentam também um maior rendimento físico que os jogadores substituídos. O jogador da posição do substituto/substituído, que permaneceu em campo apresentou também menor rendimento físico que os substitutos. Estes resultados sugerem que as motivações táticas justificam as substituições de médios centro e avançados e as motivações físicas justificam as substituições de médios centro e extremos.

Palavras-Chave: substituição, substituto, substituído, rendimento físico, comportamento tático, futebol, entropia, regularidade, imprevisibilidade, variabilidade.

I - Introdução

Os recentes avanços tecnológicos têm criado um profundo impacto no desporto, permitindo a análise da performance de jogadores e equipas com níveis de detalhe cada vez superiores (Castellano, Alvarez-Pastor, & Bradley, 2014). Jogadores e treinadores consideram a quantidade e qualidade de informação proveniente das tecnologias atuais, de grande valor, sendo o feedback extraído de grande importância para uma aprendizagem mais rápida (Liebermann et al., 2002). A avaliação e o volume de informação permite aos treinadores e aos cientistas do desporto tomar decisões mais fundamentadas relativamente às necessidades dos seus jogadores e equipas (Castellano et al., 2014) e permite-lhes também o conhecimento mais detalhado das equipas adversárias. A recolha de dados posicionais torna-se assim fundamental ao desporto de alta competição, por forma a permitir conhecer detalhadamente o comportamento das equipas e dos seus jogadores, quer coletiva, quer individual. Os remotos sistemas de notação para o desporto de rendimento visavam apenas a recolha, *in loco*, de informação proveniente do jogo ou do treino e eram organizadas manualmente, em formas de registo e a armazenamento, previamente definidas. Embora apresente muitas vantagens, este sistema de notação torna-se limitativo no tipo de informação recolhida e baliza-se nas premissas jogador, posição no campo, sequencia temporal e ação (Carling, Williams, & Reilly, 2005). Na revisão de Folgado, Gonçalves, Abade e Sampaio (2014), é possível perceber a evolução dos sistemas de notação ao longo das ultimas décadas. No final da década de 90, apenas as equipas de topo utilizavam sistemas de notação em vídeo para a análise de jogos e das sessões de treinos (Leser, Baca, & Ogris, 2011). Desde então, o desenvolvimento tecnológico tem vindo a oferecer cada vez mais soluções para a recolha de informação do treino e do jogo. Da mesma forma, as soluções apresentadas têm-se mostrado também cada vez mais versáteis, mais precisas e mais viáveis. Nos dias de hoje, são aplicadas técnicas mais sofisticadas no desporto de alto rendimento, onde os detalhes são fundamentais para o aumento da performance. Desta forma, para analisar o comportamento tático das equipas ou para se obter a informação da carga física dos jogadores, desenvolveram-se sistemas computacionais de rastreamento posicional, com base em vídeo (Leser et al., 2011), podendo estes sistemas serem manuais ou semiautomáticos e recolher informações do rastreamento dos jogadores, em treino e em jogo. Os sistemas eletrónicos de posicionamento global (GPS), foram desenvolvidos por forma a analisar as sessões de treino *outdoor*

(MacLeod, Morris, Nevill, & Sunderland, 2009), permitindo a recolha em tempo real de variáveis como velocidade, posição, distância e direção. Apresentam a limitação de não poderem ser usadas em competições oficiais, sendo o seu uso apenas aplicável ao treino. Os sistemas de radiofrequência foram desenvolvidos, com base nas ondas rádio, para o rastreamento posicional (Wouter Frencken, Lemmink, & Delleman, 2010), mostrando-se como uma mais valia em termos de precisão, tanto no treino *outdoor* como em treino *indoor*. Este sistema, baseia-se no cálculo da distância entre estações fixas e bases colocadas nos jogadores. (Leser et al., 2011)

Nos últimos anos, foram desenvolvidos estudos para validar vários sistemas de *tracking* das posições dos jogadores: (i) *Prozone*, rastreamento semiautomático e computacional de jogadores, com camaras de vídeo múltiplas (Di Salvo, Collins, McNeill, & Cardinale, 2006); (ii) *Local Position Measurement* (LPM), rastreamento posicional de jogadores com a radiofrequência (Wouter Frencken et al., 2010); (iii) *SpiElite*, sistema de rastreamento com GPS (MacLeod et al., 2009). Com base nestes sistemas de mensuração, nas últimas décadas foram publicados estudos sobre os padrões físicos (J. Bangsbo, Norregaard, & Thorso, 1991; Carling, Espié, Le Gall, Bloomfield, & Jullien, 2010; Stølen, Chamari, Castagna, & Wisløff, 2005), biomecânicos (Lees & Nolan, 1998) e técnico-táticos (Carling, Bloomfield, Nelsen, & Reilly, 2008; W. Frencken, Van der Plaats, Visscher, & Lemmink, 2013; Silva et al., 2014) no futebol. Durante este período, houve uma maior preocupação ao nível da interpretação do padrão de deslocamentos individuais dos jogadores, tendo tido um papel importante no conhecimento das exigências físicas solicitadas no treino e no jogo. Estes estudos permitiram um maior conhecimento ao nível dos mecanismos da fadiga (Jens Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006; Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2005), do perfil fisiológico de determinadas ligas profissionais (Bradley et al., 2009) das diferentes posições assumidas pelos jogadores (Di Salvo et al., 2007), dos sistemas táticos utilizados (Bradley et al., 2011) do número de jogadores (Carling & Bloomfield, 2010) e do efeito das substituições no decorrer do jogo (Carling et al., 2010). Para estes estudos, tendencialmente, estudou-se a distância total percorrida, o tempo e a distância percorrida em diferentes categorias de intensidade de deslocamento (Di Salvo et al., 2007) e os períodos de recuperação entre *sprints* (Carling & Dupont, 2010; Carling et al., 2010; Mohr et al., 2005). No entanto, a análise do padrão de deslocamentos dos jogadores pode também permitir obter informações ao nível do comportamento tático

dos jogadores. Por exemplo, se as trajetórias dos jogadores forem analisadas em relação às trajetórias dos seus companheiros de equipa ou dos seus adversários, ou ainda se tiverem em conta as características espaço-temporais das suas trajetórias (Silva et al., 2014)

Silva e colaboradores (2014) e Sampaio, Lago, Gonçalves, Maças e Leite (2013) concluíram que a dimensão física não é determinante no sucesso dos jogadores e torna-se fundamental o conhecimento conjunto dos aspetos técnicos e táticos. Desta forma, sendo atualmente cada vez mais importante o conhecimento do comportamento das equipas e dos jogadores e a forma como estes se influenciam, torna-se redutor ter em atenção apenas variáveis como a velocidade ou a distância percorrida. Assim, no presente trabalho propomo-nos analisar o comportamento dos jogadores tendo em conta as características espaço-temporais dos seus deslocamentos. O espaço e o tempo são as variáveis-chave na identificação de padrões comportamentais nas situações de treino e competição (Grehaigne, Bouthier, & David, 1997; Harbourne & Stergiou, 2009; McGarry, 2005).

Nos últimos anos, o futebol tem sido estudado como um sistema complexo e dinâmico, que evolui no limite entre a estabilidade e a instabilidade, onde os atacantes tentam quebrar a simetria com os defensores, enquanto os defensores tentam manter a simetria com os atacantes (McGarry, 2005). Um sistema complexo em contacto com o meio envolvente tende a demonstrar capacidades de auto-organização (Harbourne & Stergiou, 2009), procurando soluções que visem a estabilidade das diferentes partes do sistema. Neste sentido, a variabilidade do movimento, quando funcional, reflete a adaptação do sistema ao meio, estando usualmente associado a elevados níveis de performance ou de perícia (Davids, Glazier, Araujo, & Bartlett, 2003) e a um maior sucesso nas tarefas (Harbourne & Stergiou, 2009). Genericamente, a variabilidade do movimento nos sistemas permite aos indivíduos adaptarem-se aos constrangimentos impostos com o decorrer do tempo (Davids et al., 2003). Assim, se um jogador oferece uma grande variabilidade de comportamento aos constrangimentos impostos pelo jogo (terreno de jogo, adversários, companheiros, imposições táticas, entre outras), isto pode significar que poderá deter uma maior capacidade de resposta às situações, por exemplo, expresso num maior número de funções e missões táticas (Castelo, 1994). Desta forma, ser mais imprevisível pode significar ser mais útil à equipa. À luz dos sistemas dinâmicos, da variabilidade e da interação espaço-temporal, foram desenvolvidos vários estudos no

futebol e no basquetebol onde se procurou calcular o posicionamento das equipas e a distribuição dos jogadores no campo. Tendencialmente, os estudos têm avaliado variáveis posicionais como a direção e distância lateral e longitudinal da equipa (Castellano, Álvarez, Figueira, Coutinho, & Sampaio, 2013; R. Duarte et al., 2013; W. Frencken et al., 2013), o seu centro posicional (*centroid*) e a sua oscilação (R. Duarte et al., 2013; Wouter Frencken, Lemmink, Delleman, & Visscher, 2011; Wouter Frencken, Poel, Visscher, & Lemmink, 2012), a *surface area* (Castellano et al., 2013; Wouter Frencken et al., 2011; W. Frencken et al., 2013), a distância entre jogadores (Passos et al., 2011) e relações de acoplamento entre díades (Travassos, Vilar, Araújo, & McGarry, 2014). McGarry, Khan e Franks (1999) foram os primeiros autores a estudar os padrões de comportamento a partir do estudo da variabilidade do movimento no *Squash*. Começaram por investigar os padrões de oscilação em volta de um ponto específico (“T” no *Squash*). Posteriormente, procuraram calcular a relação de coordenação entre os dados de velocidade e posicionamento de cada um dos jogadores. Posteriormente, McGarry, Anderson, Wallace, Hughes e Franks (2002), procuraram estudar e aplicar a mesma análise de padrões de movimentos usada nas interações do *Squash* (*one vs. one*) às interações dinâmicas dos desportos de equipa (*many vs. many*). A partir destes estudos McGarry (2005) introduziu considerações teóricas que serviram de base ao presente estudo, nomeadamente acerca do modo como a noção de *locus* de referência espacial poderia ser aplicado ao futebol. Comparando com os desportos de raquetes, a tendência dos jogadores nos desportos de invasão não é de se moverem sobre um ponto fixo no campo, estando em geral confinados a uma área específica, dependendo das suas funções (Wouter Frencken et al., 2012). No caso do futebol, a organização tática confere aos jogadores um conjunto de funções e missões (Castelo, 1994) que por sua vez os confine a uma determinada zona de ação. Na linha de raciocínio, Silva e colaboradores (2014) estudaram o efeito da dimensão do terreno de jogo e o nível de experiência de jogadores de futebol, durante a execução de jogos reduzidos condicionados. Procuraram assim estudar a variabilidade das zonas de ação dos jogadores e a variabilidade da distância percorrida em torno do locus de referência espacial dos jogadores. O *locus* de referência espacial dos jogadores, foi calculado a partir da mediana da trajetória de movimento da distribuição não paramétrica, ao qual foi calculada a distância ao longo do tempo. Os resultados mostraram que o aumento das dimensões do terreno de jogo resultou numa maior restrição das zonas de ação dos

jogadores e em maiores valores de distância ao respetivo locus. Concluíram também que os jogadores com maior experiência, apresentam uma maior sensibilidade ao aumento do terreno de jogo e apresentaram uma maior variabilidade que os jogadores com menor experiência.

Nos jogos desportivos coletivos, as substituições conferem a possibilidade de induzir variabilidade e imprevisibilidade na equipa. As substituições são uma estratégia-chave dos treinadores poderem introduzir variações significativas no jogo da equipa: fazendo as substituições certas, no momento certo, o treinador pode garantir um impacto maior no desenrolar do jogo; fazendo as substituições erradas, no momento errado, o treinador poderá comprometer o desempenho e resultado do jogo (Sivils, 2009). As substituições servem assim como estratégia para na segunda parte do jogo, substituir jogadores cansados (Mohr, Krustup, & Bangsbo, 2003; Reilly, Drust, & Clarke, 2008) ou alterar a abordagem tática do jogo (Del Corral, Barros, & Prieto-Rodriguez, 2007; Pearce & Hughes, 2001). Por outro lado, muitas das substituições que ocorrem durante a primeira parte são justificadas por expulsões ou por lesões (Del Corral et al., 2007). O futebol, é um caso particular das modalidades coletivas em geral, por serem permitidas apenas três substituições, sendo que um jogador após sair não poderá voltar a participar no jogo. Assim, a forma como o treinador provoca alterações na equipa, têm que ser muito assertivas para ir ao encontro das respetivas necessidades da equipa, uma vez que não se pode voltar a trás nestas decisões. Pearce e Hughes (2001) estudaram o impacto das substituições no rendimento das equipas e dos atletas substitutos e substituídos, do *Campeonato da Europa de 2000*. Estes autores concluíram que 86% das substituições ocorreram por motivos táticos, 5% por motivos físicos e 13% como forma de perder tempo no jogo. Concluíram também que 60% das substituições contribuíram diretamente ou indiretamente, de forma positiva para a performance do jogo. Ainda assim, apenas em 37,5% dos casos, o substituto apresentou um melhor padrão de comportamentos do que o substituído, sendo que 8% dos substitutos conseguiram mesmo marcar golo após a entrada. Rey, Lago-Ballesteros e Padrón-Cabo (2015), procuram estudar a influência de um conjunto de variáveis notacionais, no tempo e nas alterações táticas das substituições. Concluíram que é a qualidade do adversário e o nível do jogo são os elementos principais a considerar na decisão dos treinadores para promover a substituição.

Orientados para a análise do rendimento físico, Mohr e colaboradores (2003) demonstraram no seu estudo que a partir dos 75 minutos os jogadores substitutos apresentaram um maior rendimento nos deslocamentos de alta intensidade que outros jogadores que jogaram ao longo dos 90 minutos. Por outro lado, Del Corral e colaboradores (2007) estudaram o padrão das substituições de jogadores durante 38 jogos de futebol da liga espanhola durante a época 2004/2005. Concluíram que são os elementos estratégicos que determinam o tempo a que ocorre a substituição, sendo o resultado do jogo o mais importante. Concluíram assim que é o facto de as equipas jogarem em casa ou fora que mais influenciou as decisões dos treinadores na realização das substituições. Na mesma linha, Carling e colaboradores (2005) concluíram que os substitutos que entram no final do jogo tendem a apresentar uma maior rendimento físico que os jogadores substituídos, eventualmente devido às reservas de glicogénio e aos respetivos mecanismos da fadiga. Apesar disso, o declínio do rendimento físico, nos últimos 15 minutos do jogo, por consequências da acumulação de fadiga, não está relacionado com a redução das competências de ordem técnicas (Carling & Dupont, 2010). Carling e colaboradores (2010) investigaram o rendimento dos jogadores substitutos, no futebol profissional e concluíram que os jogadores substitutos, médios e avançados, não utilizaram todo o potencial das suas capacidades físicas. Especificamente, no caso dos avançados, percebeu-se que os substitutos não apresentaram uma maior capacidade de trabalho que os substituídos. Contudo, para os médios, a tendência mostrou-se inversa. Os autores sugeriram que estes resultados deverão estar relacionados com condicionantes táticas inerentes às respetivas posições em campo, pelo que as substituições necessitam de ser estudadas de acordo com o seu impacto tático no jogo.

Assim, torna-se pertinente perceber a forma como as substituições influenciam o comportamento tático dos jogadores a partir da análise do seu padrão de movimentos no campo e da forma como interagem e influenciam o padrão dos jogadores mais próximos.

Com este trabalho, pretendemos estudar o comportamento tático individual através da variabilidade da distribuição espacial dos jogadores, como sugerido por Silva e colaboradores (2014); e da variação da distância ao seu *locus* de referência espacial, tal como sugerido por McGarry (2005) e Silva e colaboradores (2014).

Por outro lado, procurámos também investigar o rendimento físico dos jogadores substitutos e substituídos, como sugerido por Carling e colaboradores (2010), de forma a interpretar de modo mais abrangente o padrão de deslocamento dos jogadores – aos níveis tático e físico.

Baseámo-nos na literatura e concretamente em Carling e colaboradores (2010) de forma a redefinimos as seguintes hipóteses para o estudo:

1. Hipótese 1- O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substituídos variam significativamente entre o período inicial do jogo e o período imediatamente anterior à substituição
2. Hipótese 2 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente face aos jogadores substituídos.
3. Hipótese 3 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos são significativamente diferentes dos jogadores da mesma posição que permanecem em campo.
4. Hipótese 4 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente em relação aos períodos em que estes iniciam o jogo na qualidade de titulares.
5. Hipótese 5 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos dois jogadores posicionalmente mais próximos ao jogador substituído/substituto variam significativamente com a substituição.

II - Métodos

Amostra

Um total de 14 jogos, da *Premier League*, ocorridos durante a época 2010/2011, foram selecionados e serviram como base ao estudo. Os jogos analisados reportam-se às jornadas 6, 10, 16, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35 e foram jogados entre setembro e abril. Foram analisadas as substituições ocorridas, na qualidade de visitados e/ou visitantes, em equipas como o Manchester City FC, Bolton Wanderers FC, Wolverhampton Wanderers FC, Leicester City FC, West Bromwich Albion FC, Sunderland Association FC e Liverpool FC, Wigan Athletic FC, Chelsea FC, Everton FC, Arsenal FC, West Ham United FC, Tottenham Hotspur FC. De salientar que a equipa do Manchester City FC foi estudada em 14 jogos, em função dos jogos disponíveis para o estudo e sendo a amostra caracterizada como de conveniência. Do total de jogos, foram selecionadas as substituições diretas (i.e. jogadores da mesma posição) em que os jogadores envolvidos tenham jogado pelo menos 15 minutos (Pearce & Hughes, 2001). Tal como sugerido por Carling e colaboradores (2010), foram contabilizadas apenas as substituições ocorridas durante a segunda parte e intervalo, por ser neste período que ocorrem 98% das substituições (Pearce & Hughes, 2001) e porque muitas das substituições que ocorrem durante a primeira parte são justificadas por expulsões ou por lesões (Del Corral et al., 2007). Desta forma, foram consideradas 40 substituições, envolvendo 32 médios centros, 28 extremos e 20 avançados. Não foram considerados os jogadores defesas devido ao reduzido número de substituições ocorridas nos jogos analisados (Carling et al., 2010).

O posicionamento dos jogadores foi caracterizado com recurso à observação e análise do jogo em vídeo, de acordo com a figura 1: Defesas Centro; Defesas Laterais, Médios Centro, Extremos e Avançados (Di Salvo et al., 2007).

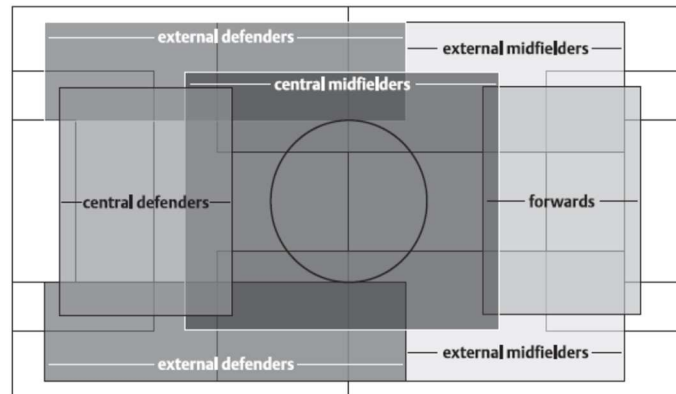


Figura 1 – Categorização do posicionamento geral dos jogadores. (Di Salvo et al., 2007)

Para testar a hipótese 1, o comportamento tático individual e o padrão de deslocamento dos jogadores substituídos foram comparados nos 15 minutos iniciais do jogo e nos 15 minutos anteriores à ocorrência da substituição. Na hipótese 2, o comportamento tático individual e o padrão de deslocamento dos jogadores substituídos, nos 15 minutos anteriores à substituição, foram comparados com os 15 minutos iniciais do jogo do jogador substituído. Na hipótese 3, o comportamento tático individual e o padrão de deslocamento dos jogadores substituídos e do jogador da mesma posição que se manteve em campo, foram comparados nos 15 minutos seguintes à substituição. Na hipótese 4, o comportamento tático individual e o padrão de deslocamento dos jogadores, foram comparados nos 15 minutos iniciais de jogo, jogados na qualidade de titulares na qualidade de substituídos. Na hipótese 5, o comportamento tático individual e o padrão de deslocamento dos 2 jogadores mais próximos à substituição foram comparados nos 15 minutos anteriores e nos 15 minutos posteriores à alteração de jogadores.

Recolha de Dados

As ações dos jogadores foram recolhidas com o sistema *video-based, multicamera tracking system ProZone3®* (ProZone Holdings Ltd, UK). Este sistema foi validado por Salvo, Collins, McNeill, and Cardinale (2006).

Foram utilizadas entre 8 e 12 câmaras (Vicon Surveyor 23x Cameras Dome/ SVFT-W23) no topo dos estádios de forma a cobrir todo o terreno de jogo, ligadas a uma central e conectadas a uma box de distribuição. A box de distribuição divide cada vídeo de 3 formas: 1) para os equipamentos de captação primária; 2) para os equipamentos de backup; e 3) para a unidade de telemetria. (Salvo et al., 2006) Após a captação, os

ficheiros foram enviados para servidores especializados que reconhecem os novos ficheiros e iniciam o rastreamento automático. Cada ficheiro proveniente das camaras foi tratado de forma individual e depois de terminado o processo de rastreamento, toda a informação foi recolhida e gravada num único documento combinado. Posteriormente as coordenadas do vídeo foram convertidas em coordenadas reais mediante um processo de calibração, onde por intermédio de um algoritmo, foram eliminadas imagens distorcidas e erros óticos. Finalmente, a informação foi confirmada num processo de qualidade, em que o operador identificou cada jogador e as suas trajetórias, manualmente e corrigindo os marcadores do rastreamento quando necessários. Após todos estes processos obtivemos a base de dados contendo todas as coordenadas (x,y) sincronizadas com marcas temporais e com uma taxa de amostragem de 10 Hz.

Variáveis

Como objetivo de procedermos ao estudo das variáveis em análise, revimos e baseámo-nos nas metodologias de estudo de Silva e colaboradores (2014) e Carling e colaboradores (2010). Após cálculo das variáveis, usamos ferramentas lineares e não lineares. Desta forma, foram utilizados estimadores de entropia, ou algoritmos, (Pukénas, Poderys, & Gulbinas, 2012) que permitiram quantificar a complexidade e a estrutura do padrão de deslocamento dos jogadores: Entropia de Shannon e Entropia Amostral.

Procurámos determinar a distribuição espacial com base na metodologia de Silva et al. (2014). Para a realização do cálculo da distribuição espacial, os campos de futebol em estudo foram discretizados em *bins* com o tamanho de 1m^2 e o tempo gasto por cada jogador em cada bin foi calculado de acordo com a frequência de amostragem de 10 Hz, com a utilizada pelo sistema *ProZone3*[®]. De forma a quantificarmos amplitude da variabilidade procedemos ao estudo da entropia utilizando uma ferramenta não linear – Entropia de Shannon. Assim, o cálculo da entropia de Shannon (*Shannon, 1948*) foi usada para inferir a variabilidade inerente à distribuição espacial dos jogadores, o que permite quantificar a incerteza da localização de cada jogador num determinado local do campo. Considerando a partição do terreno de jogo com N bins e cenário p_i como o cálculo da probabilidade de encontrar o jogador no bin i , a entropia S da distribuição espacial é:

$$S = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

Sendo que normalizando de forma ao resultado ser obtido entre 0 e 1:

$$S\% = - \sum_{i=1}^N p_i \log \frac{p_i}{\log N}$$

Da obtenção dos resultados, um baixo valor de entropia (próximo de 0) indica que a distribuição é nitidamente repicada e um alto valor de entropia (próximo de 1) indica que a distribuição é uniforme (Pukénas et al., 2012). Assim, interpretando os valores da entropia de Shannon relativamente à variabilidade de distribuição espacial, um valor baixo de entropia significa que o posicionamento do jogador pode ser facilmente previsível e por outro lado um alto valor de entropia significa que o posicionamento dos jogadores é altamente variável e dificilmente previsível.

Para o estudo da variabilidade da distância percorrida em torno do *locus* de referência espacial, em primeiro lugar, foi calculado o *locus* para cada jogador, determinado a partir da mediana da trajetória de movimento da distribuição não paramétrica, ao qual foi calculada a distância ao longo do tempo. A distância ao *locus* (D), ao longo do tempo, foi computadorizada para cada jogador (P) usando o *Teorema de Pitágoras*:

$$D_{(L,P)} = \sqrt{((Lx - Px) + (Ly - Py))^2}.$$

De forma a analisar-se a magnitude da variabilidade, procedeu-se à análise linear, recorrendo-se à utilização da média, desvio padrão e percentagem de coeficiente de variação. Esta informação foi complementada com ferramentas não lineares por serem importantes para quantificar a natureza ou estrutura da variabilidade (Harbourne & Stergiou, 2009; Pukénas et al., 2012). Para avaliar a estrutura da variabilidade, recorrendo-se à análise não linear, usáram-se os calculos da Entropia Amostral (*SampEn*) (Grassberger, Schreiber, & Schaffrath, 1991; Richman & Moorman, 2000). A entropia amostral (m, r, N) permite a caracterização da complexidade das series de tempo em termos da sua regularidade (Pukénas et al., 2012). Este indicador é justamente o logaritmo natural negativo da probabilidade condicional de que duas sequências similares (dentro de um nível de tolerância r) para m pontos, permanecerem similares para $m+1$ pontos (Grassberger et al., 1991; Pukénas et al., 2012; Richman & Moorman, 2000). De acordo com Grassberger e colaboradores (1991) e Pukénas e colaboradores

(2012), seja $x(1), \dots, x(N)$ numa série temporal de tamanho N , a metodologia do cálculo da entropia amostral (m, r, n) é descrita como:

$$SampEn(m, r, N) = -Ln \left[\frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right],$$

onde,

Para cada $i=1, \dots, N-m$, calcula-se:

$$B^m(r) = (N - m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r),$$

$$A^m(r) = (N - m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r),$$

sendo

$B^m(r)$ é o número do vetor $x_m(j)$ dentro de r de $x_m(i)$, onde j varia entre 1 e $N-m$ ($j \neq i$)

e

$A^m(r)$ é o número do vetor $x_{m+1}(j)$ dentro de r de $x_{m+1}(i)$ onde j varia de 1 a $N-m$ ($j \neq i$).

Da mensuração, valores de *SampEn* próximos do 0 significam maior regularidade da série temporal (Richman & Moorman, 2000) e consequentemente menor complexidade. Pelo contrário, valores de *SampEn* a tender para infinito significam menor regularidade da série temporal e consequentemente maior complexidade.

Assim, por estes cálculos podemos inferir quando os jogadores apresentam alta regularidade (baixos valores de *SampEn*) ou baixa regularidade (altos valores de *SampEn*) de distância dos jogadores ao seu *locus* de referência espacial.

Na análise dos parâmetros físicos, de acordo com Carling e colaboradores (2010) e Di Salvo e colaboradores (2006), realizamos o estudo do rendimento físico dos jogadores de 2 formas diferentes. Primeiramente, calculamos a distância total percorrida nos períodos de 15 minutos em análise e depois calculamos a distância percorrida nas cinco diferentes categorias de intensidade: categoria 1 - 0-11 km/h (andar ou *jogging*); categoria 2 - 11.1-14 km/h (corrida de baixa intensidade); categoria 3 - 14.1-19 km/h (corrida de intensidade moderada); categoria 4 - 19.1-23km/h (corrida de alta intensidade) e categoria 5 - >23.1 km/h (corrida em *sprint*) (Di Salvo et al., 2007).

Para o cálculo das variáveis em estudo, foram desenhadas rotinas através da utilização do software MATHWORKS MATLAB (R2015a, Mathworks, USA).

Análise dos Dados

Os dados foram apresentados na forma média \pm desvio padrão. Antes de se recorrer à utilização de procedimentos estatísticos paramétricos, foi verificada a existência de normalidade. A análise estatística das variáveis entropia de Shannon, percentagem de coeficiente de variação, distância média ao *locus* de referência espacial, entropia amostral, distância total percorrida e distância percorrida nas categorias de intensidade, foi realizada através da utilização do teste *t* para amostras dependentes (comparação das variáveis em 2 momentos, para o mesmo grupo de jogadores) e recorrendo-se ao teste *t* para amostras independentes com correção do *teste de Levene para igualdade de variâncias* (comparação das variáveis para 2 grupos de jogadores). Desta forma, as hipóteses H1, H5 foram estatisticamente avaliadas recorrendo ao teste *t* para amostras emparelhadas e as hipóteses H2 e H3 recorrendo teste *t* para amostras independentes. Na hipótese H4, por não cumprir os requisitos de normalidade na sua distribuição, foi testada através da utilização do teste não paramétrico de *Wilcoxon Signed-Rank Test* para 2 amostras emparelhadas.

Recorremos à utilização do software IBM SPSS Statistics 23 para o processamento e análise estatística das variáveis em estudo, sendo que a significância estatística foi definida em $p < 0.05$.

III – Resultados

Os resultados foram organizados nas seguintes tabelas, pelas posições em campo estudadas, por forma a facilitarem a sua interpretação. Na tabela 1, podem ser observados os resultados obtidos nas variáveis em estudo para cada uma das 5 hipóteses, para os jogadores da posição de médio centro.

Tabela 1 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como médio centro, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.

Médio Centro												
			Distribuição espacial dos jogadores	Distância ao <i>locus</i> dos jogadores			Distâncias percorridas					
			Entropia Shannon	Valor médio (m)	Coefficiente variação (%)	Entropia Amostral	Distância total (m)	<i>Sprint</i> (m)	Alta Intensidade (m)	Moderada Intensidade (m)	Baixa Intensidade (m)	Trote (m)
Hipótese 1	Substituídos	Início do jogo	0.147±0.008	18.8±2.2	56.2±8.5	2.74±0.11	1842±296	203±374	135±52	337±96	311±65	979±62
	Substituídos	Antes substituição	0.142±0.009	19.1±2.2	52.4±5.4	2.81±0.39	1700±197	86±46	115±43	284±81	257±54	906±205
	Significância estatística		t=1.883; p=0.079	t=-0.364; p=0.721	t=1.793; p=0.093	t=-2.460; p=0.027	t=2.498; p=0.025	t=1.272; p=0.226	t=2.617; p=0.019	t=3.384; p=0.004	t=4.199; p=0.001	t=1.494; p=0.156
Hipótese 2	Substituídos	Antes substituição	0.142±0.009	19.1±2.2	52.4±5.4	2.81±0.39	1700±197	86±46	115±43	284±81	257±54	906±205
	Substituídos	Após substituição	0.145±0.009	19.1±2.4	53.4±8.3	2.76±0.10	1857±164	115±48	155±48	344±74	292±55	947±71
	Significância estatística		t=-0.863; p=0.395	t=0.689; p=0.921	t=-0.400; p=0.692	t=1.883; p=0.083	t=-2.439; p=0.021	t=-1.550; p=0.132	t=-2.412; p=0.022	t=-2.207; p=0.035	t=-1.793; p=0.083	t=0.303; p=0.764
Hipótese 3	Substituídos	Após substituição	0.145±0.009	19.1±2.4	53.4±8.3	2.76±0.10	1857±164	115±48	155±48	344±74	292±55	947±71
	1 jogador mesma posição	Após substituição	0.143±0.012	19.0±2.1	55.2±7.0	2.76±0.07	1730±694	91±61	128±93	292±70	265±41	948±91
	Significância estatística		t=0.448; p=0.657	t=0.156; p=0.877	t=-0.698; p=0.491	t=0.112; p=0.911	t=1.960; p=0.059	t=1.381; p=0.177	t=1.443; p=0.159	t=1.856; p=0.073	t=1.400; p=0.0172	t=-0.063; p=0.950
Hipótese 4	Titular	Início do jogo	0.149±0.081	20.1±2.6	59.6±0.6	2.70±0.08	1950±194	119±61	155±51	387±93	325±52	963±69
	Substituto	Após substituição	0.140±0.040	18.8±4.0	53.7±1.1	2.79±0.04	1776±149	67±44	106±27	394±65	288±51	1021±70
	Significância Estatística		Z=-1.214; p=0.225	Z=-0.405; p=0.686	Z=-0.405; p=0.686	Z=-2.023; p=0.043	Z=-2.023; p=0.043	Z=-2.023; p=0.043	Z=-1.753; p=0.080	Z=-1.214; p=0.225	Z=-1.753; p=0.080	Z=-1.214; p=0.225
Hipótese 5	2 jogadores + próximos	Antes substituição	0.144±0.084	20.3±2.2	59.6±0.6	2.75±0.01	1699±174	108±41	124±36	287±70	247±60	931±64
		Após substituição	0.139±0.013	19.3±2.3	53.3±0.8	2.76±0.01	1653±240	99±42	117±42	267±87	241±69	928±78
	Significância estatística		t=2.548; p=0.015	t=2.645; p=0.012	t=-0.485; p=0.630	t=-0.216; p=0.830	t=1.591; p=0.120	t=1.168; p=0.251	t=1.206; p=0.236	t=1.975; p=0.056	t=0.908; p=0.370	t=0.214; p=0.832

Na hipótese 1, ocorreram diferenças significativas na entropia amostral da variação da distância ao *locus* (t=-2.460; p=0.027), tendo-se observado valores superiores nos 15 minutos anteriores à substituição. Obtiveram-se também diferenças significativas na distância total percorrida, e na distância percorrida nas categorias de alta intensidade, moderada intensidade e baixa intensidade, com uma tendência para os valores serem superiores nos 15 minutos iniciais do jogo. Verificou-se, ainda, uma tendência para a

existência de diferenças significativas ao nível da Entropia de Shannon da variação da distribuição espacial ($t=1.883$; $p=0.079$), embora com valor ligeiramente superior a $p < 0.050$. Esta tendência apresentou também valores superiores nos 15 minutos iniciais do jogo.

Na hipótese 2, os médios apresentaram diferenças significativas apenas nas variáveis relativas ao padrão de deslocamento, na distância total percorrida e na distância percorrida nas categorias de alta intensidade, moderada intensidade, com uma tendência para os valores serem superiores nos primeiros 15 minutos de jogo do substituto.

Na hipótese 3, os resultados apresentaram uma tendência para existirem diferenças na distância total percorrida ($t=-1.960$; $p=0.059$), sendo o valor ligeiramente superiores nos 15 minutos iniciais dos substitutos.

Na hipótese 4, verificaram-se diferenças significativas na Entropia Amostral da variação da distância ao *locus*, havendo uma tendência para os valores serem superiores nos 15 minutos iniciais dos jogadores, quando na qualidade de substitutos. Os resultados apresentaram também diferenças significativas na distância total percorrida e nas distâncias percorridas nas categorias de sprint sendo os valores tendencialmente superiores nos 15 minutos iniciais dos jogadores quando na qualidade de titulares.

Na hipótese 5, os resultados apresentaram diferenças ao nível na Entropia de Shannon da variação da distribuição espacial, na distância média ao *locus*, verificando-se uma tendência para os valores serem superiores no período anterior à substituição. Na Figura 2, é apresentado um exemplo da distribuição espacial de um jogador da posição médio centro, antes e após a substituição de um também jogador médio centro.

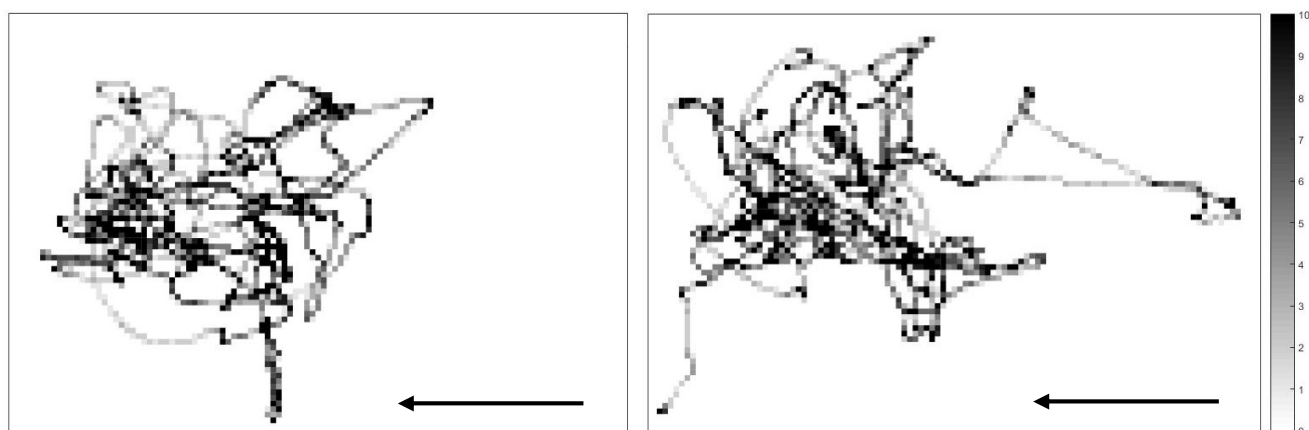


Figura 2 – Representação da distribuição espacial de um jogador, da posição de médio centro, próximo ao jogador substituído/substituto, nos 15 minutos antes (painel da esquerda) e nos 15 minutos após (painel da direita) a substituição. As setas representam o sentido do ataque. A gradação de cor indica as zonas de maior densidade dos deslocamentos.

No painel à esquerda, o jogador apresenta uma trajetória menos definida, com mais variabilidade enquanto que no painel à direita, o jogador apresenta uma zona escura com mais relevo (intensidade próxima de 10) e consequentemente menos variabilidade. Por outro lado, na Figura 3, é apresentada a série temporal da distância ao *locus* de referência espacial, para o mesmo jogador médio centro apresentado na figura anterior, antes e após ocorrer a substituição.

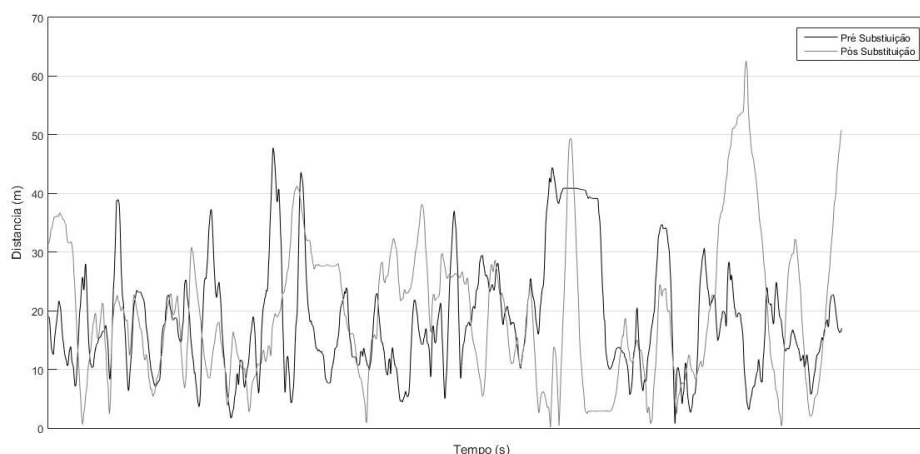


Figura 3 – Representação da série temporal da distância ao *locus* de referência espacial de um jogador, da posição de médio centro próximo ao jogador substituído/substituto, nos 15 minutos antes (linha preta) e nos 15 minutos após (linha cinza) a substituição.

A análise inferencial revelou existirem diferenças na distância média a que este jogador se afastou do seu *locus*, tendo os valores decrescido com a substituição do jogador mais próximo. Pese embora esta diminuição, os valores de entropia amostral revelam que o padrão de variação é muito semelhante, apresentando valores superiores aos reportados por Silva e colaboradores (2014).

No que diz respeito aos aspetos físicos, manifestaram-se diferenças na distância percorrida a intensidade moderada, com tendência para o valor ser superior no período anterior à substituição.

Tabela 2 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como extremos, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.

Extremo												
			Distribuição espacial dos jogadores	Distância ao <i>locus</i> dos jogadores			Distâncias percorridas					
			Entropia Shannon	Valor médio (m)	Coefficiente variação (%)	Entropia Amostral	Distância total (m)	<i>Sprint</i> (m)	Alta Intensidade (m)	Moderada Intensidade (m)	Baixa Intensidade (m)	Trote (m)
Hipótese 1	Substituídos	Início do Jogo	0.146±0.013	20.7±2.2	56.2±6.1	2.73±0.08	1869±221	136±43	155±34	347±88	275±58	956±47
	Substituídos	Antes Substituição	0.144±0.012	21.7±2.8	52.6±7.5	2.76±0.84	1759±220	120±38	141±42	289±82	249±68	952±68
	Significância Estatística		t=0.627; p=0.541	t=-1.229; p=0.241	t=1.045; p=0.315	t=-0.902; p=0.383	t=2.207; p=0.046	t=1.056; p=0.310	t=1.121; p=0.283	t=2.587; p=0.023	t=2.057; p=0.060	t=0.200; p=0.844
Hipótese 2	Substituídos	Antes Substituição	0.144±0.012	21.7±2.8	52.6±7.5	2.76±0.84	1759±220	120±38	141±42	289±82	249±68	952±68
	Substituídos	Após Substituição	0.147±0.012	21.1±3.3	57.0±7.2	2.75±0.08	1920±182	170±69	189±39	365±68	278±36	909±72
	Significância Estatística		t=-0.147; p=0.885	t=0.563; p=0.578	t=-1.229; p=0.230	t=0.397; p=0.694	t=-2.113; p=0.044	t=-2.402; p=0.024	t=-3.148; p=0.004	t=-2.655; p=0.013	t=-1.437; p=0.163	t=1.611; p=0.119
Hipótese 3	Substituídos	Após Substituição	0.147±0.012	21.1±3.3	57.0±7.2	2.75±0.08	1920±182	170±69	189±39	365±68	278±36	909±72
	1 Jogador mesma Posição	Após Substituição	0.144±0.087	21.5±1.9	52.8±7.8	2.76±0.11	1771±175	138±58	148±48	290±93	247±55	941±70
	Significância Estatística		t=0.560; p=0.580	t=-0.431; p=0.670	t=1.487; p=0.149	t=-0.404; p=0.689	t=2.209; p=0.036	t=1.307; p=0.203	t=2.519; p=0.018	t=2.702; p=0.012	t=1.751; p=0.092	t=-1.191; p=0.244
Hipótese 4	Titular	Início do Jogo	0.150±0.082	19.8±1.3	57.0±7.2	2.75±0.08	1950±205	129±65	172±39	381±83	321±69	946±40
	Substituto	Após Substituição	0.147±0.011	21.1±1.9	52.8±3.7	2.72±0.08	1913±193	151±46	180±53	370±62	291±45	910±83
	Significância Estatística		Z=-0.676; p=0.499	Z=-0.845; p=0.398	Z=-1.859; p=0.063	Z=0.000; p=1.000	Z=-0.338; p=0.735	Z=-1.183; p=0.237	Z=-0.845; p=0.398	Z=-0.169; p=0.866	Z=-0.845; p=0.398	Z=-0.845; p=0.398
Hipótese 5	2 Jogadores Próximos	Antes Substituição	0.150±0.082	20.5±2.0	56.7±0.5	2.72±0.11	1741±187	114±47	130±38	319±81	270±49	909±58
		Após Substituição	0.147±0.011	19.8±2.7	57.7±0.4	2.74±0.09	1787±188	113±50	131±43	318±73	280±46	942±44
	Significância Estatística		t=-0.269; p=0.791	t=1.313; p=0.325	t=-0.736; p=0.472	t=-0.720; p=0.481	t=-0.953; p=0.354	t=0.055; p=0.957	t=-0.161; p=0.874	t=0.051; p=0.960	t=-0.873; p=0.395	t=-1.948; p=0.068

Na tabela 2, podem ser observados os resultados obtidos nas variáveis em estudo para cada uma das 5 hipóteses, para os jogadores da posição de extremos.

Na hipótese 1 apenas se verificaram diferenças significativas nas variáveis relativas ao padrão de deslocamento. Concretamente, verificaram-se diferenças na distância total percorrida (t=2.207; p=0.046), na distância percorrida na categoria de moderada intensidade (t=2.587; p=0.023). Em todas estas variáveis, os valores foram superiores nos 15 minutos iniciais do jogo.

Na hipótese 2, verificaram-se diferenças estatísticas na distância total percorrida e na distância percorrida nas categorias de sprint, alta intensidade e moderada intensidade com tendência para os valores serem superiores nos primeiros 15 minutos de jogo do substituto.

Na hipótese 3 os resultados apresentaram diferenças na distância total percorrida e nas distâncias percorridas nas categorias de alta intensidade e moderada intensidade. Em

todos os casos, os 15 minutos iniciais dos jogadores substitutos apresentaram maiores distâncias que os jogadores da mesma posição que permaneceram em jogo.

Tabela 3 - Média e desvio padrão das variáveis caracterizadoras do comportamento tático e do rendimento físico dos jogadores que atuaram como avançados, em cada uma das 5 hipóteses de estudo.

Avançado												
			Distribuição espacial dos jogadores	Distância ao <i>locus</i> dos jogadores			Distâncias percorridas					
			Entropia Shannon	Valor médio (m)	Coefficiente variação (%)	Entropia Amostral	Distância total (m)	<i>Sprint</i> (m)	Alta Intensidade (m)	Moderada Intensidade (m)	Baixa Intensidade (m)	Trote (m)
Hipótese 1	Substituídos	Início do Jogo	0.149±0.011	19.6±2.8	53.3±6.1	2.78±0.06	1797±410	313±621	142±49	330±118	321±72	982±37
	Substituídos	Antes Substituição	0.141±0.011	19.6±3.1	57.6±6.8	2.70±0.92	1705±183	108±57	135±48	302±76	254±45	870±214
	Significância Estatística		t=2.481; p=0.035	t=-0.254; p=0.079	t=-1.410; p=0.192	t=2.346; p=0.044	t=0.569; p=0.583	t=1.124; p=0.290	t=0.424; p=0.682	t=0.570; p=0.582	t=2.005; p=0.076	t=1.592; p=0.146
Hipótese 2	Substituídos	Antes Substituição	0.141±0.011	19.6±3.1	57.6±6.8	2.70±0.92	1705±183	108±57	135±48	302±76	254±45	870±214
	Substitutos	Após Substituição	0.143±0.086	19.1±2.5	51.8±2.5	2.78±0.06	1705±183	141±39	138±27	309±102	258±62	925±51
	Significância Estatística		t=-0.379; p=0.709	t=0.656; p=0.520	t=-35.69; p=0.000	t=-2.028; p=0.058	t=-0.861; p=0.400	t=-1.460; p=0.162	t=-0.148; p=0.884	t=-0.171; p=0.866	t=-1001; p=0.330	t=-0.046; p=0.964
Hipótese 3	Substitutos	Após Substituição	0.143±0.086	19.1±2.5	51.8±2.5	2.78±0.06	1705±183	141±39	138±27	309±102	258±62	925±51
	Jogador mesma Posição	Após Substituição	0.142±0.085	19.3±2.2	50.4±6.5	2.79±0.05	1684±140	101±29	129±15	303±69	239±15	912±41
	Significância Estatística		t=0.094; p=0.926	t=-0.172; p=0.856	t=0.583; p=0.567	t=-0.521; p=0.609	t=1.121; p=0.277	t=2.597; p=0.018	t=0.899; p=0.381	t=0.161; p=0.874	t=0.688; p=0.500	t=0.532; p=0.601
Hipótese 4	Titular	Início do Jogo	0.141±0.082	19.5±1.6	54.2±0.5	2.78±0.10	1700±154	88±69	108±25	259±61	247±78	997±53
	Substituto	Após Substituição	0.146±0.010	20.2±2.9	57.7±0.5	2.73±0.06	1897±208	167±40	147±37	350±137	290±77	939±63
	Significância Estatística		Z=-0.674; p=0.500	Z=-0.135; p=0.893	Z=-1.753; p=0.080	Z=-0.845; p=0.225	Z=-1.483; p=0.138	Z=-0.845; p=0.398	Z=-1.483; p=0.138	Z=-1.483; p=0.138	Z=-1.483; p=0.138	Z=-2.023; p=0.043
Hipótese 5	2 Jogadores Próximos	Antes Substituição	0.140±0.010	19.6±2.7	52.8±0.7	2.74±0.10	1617±170	105±37	108±32	238±65	211±56	954±69
		Após Substituição	0.136±0.010	19.8±2.9	51.4±0.7	2.75±0.10	1566±146	83±36	94±30	321±51	208±40	960±61
	Significância Estatística		t=1.400; p=0.177	t=-0.365; p=0.719	t=0.714; p=0.484	t=-0.212; p=0.834	t=1.403; p=0.176	t=2.552; p=0.019	t=2.099; p=0.049	t=1.309; p=0.205	t=0.227; p=0.823	t=-0.368; p=0.717

Na tabela 3, podem ser observados os resultados obtidos nas variáveis em estudo para cada uma das 5 hipóteses, para os jogadores da posição de avançados.

Na hipótese 1 apresentaram-se apenas diferenças estatísticas nas variáveis táticas, na Entropia de Shannon da variação da distribuição espacial (t=2.481; p=0.035) e na Entropia Amostral da variação da distância ao *locus* (t=2.346; p=0.044). De referir que que os valores de ambas tenderam a ser superiores nos 15 minutos iniciais do jogo.

Na hipótese 2, verificaram-se diferenças estatísticas no coeficiente de variação, apresentando uma tendência para ser superior nos 15 minutos finais do substituído, anteriores à substituição. A entropia amostral da variação da distância ao *locus*

apresentou uma tendência para existirem diferenças significativas ($t=-2.028$; $p=0.058$), mostrando-se ligeiramente superior nos 15 minutos iniciais jogados pelo substituto.

Na hipótese 3 os resultados apenas se verificaram diferenças na distância percorrida na categoria de sprint, apresentando uma tendência para a distância ser superior nos 15 minutos iniciais dos substitutos.

Na hipótese 4, apenas se verificaram diferenças na distância percorrida na categoria de trote sendo o valor superior nos 15 minutos iniciais, quando na qualidade de substitutos.

Na hipótese 5, verificaram-se diferenças significativas nas distâncias percorridas nas categorias de sprint e de alta intensidade. Em ambas as variáveis, os valores mostraram-se superiores nos momentos anteriores à substituição.

IV - Discussão

Com este estudo procurámos analisar o efeito das substituições no comportamento tático e no padrão de deslocamento de jogadores profissionais de futebol. Para tal, procurámos estudar as variações do padrão e da variabilidade do movimento aquando das substituições de jogadores de três posições no campo: médios centros, extremos e avançados. Baseados na literatura prévia sobre o tema foram definidas cinco hipóteses de estudo, que discutiremos analiticamente de seguida.

Hipótese 1- O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substituídos variam significativamente entre o período inicial do jogo e o período imediatamente anterior à substituição

Estudos prévios sugerem que as substituições ocorrem essencialmente por razões de natureza tática (Carling et al., 2010), dada a inexistência de diminuição no rendimento físico dos jogadores substituídos. Pearce e Hughes (2001) afirmam mesmo que em 86% dos casos, as substituições são efetuadas por motivos táticos. Do período inicial para o período anterior à substituição, ocorreu uma diminuição na imprevisibilidade da distribuição espacial dos médios centros e dos avançados. Silva e colaboradores (2014), demonstram que jogadores de nível nacional tem tendência para apresentar uma maior variabilidade na sua distribuição espacial do que jogadores de nível regional, em campos de tamanho pequeno e intermédio. Fazem também referencia ao caso concreto de um médio centro, onde o mesmo se verifica. Desta forma, poderemos encontrar aqui uma potencial justificação para o treinador proceder à substituição dos jogadores, em concreto dos médios centros.

Por seu lado, os médios tenderam a diminuir a sua regularidade em torno do seu *locus* nos minutos anteriores à substituição, enquanto que os avançados apresentaram uma tendência oposta. De acordo com a interpretação de Davids e colaboradores (2003), a variação dos níveis de regularidade do comportamento dos jogadores pode ser revelador da sua contínua adaptação às circunstâncias do jogo, nos minutos anteriores à substituição. Apesar da dificuldade em interpretar o real valor prático das mudanças na regularidade do comportamento dos jogadores, Silva e colaboradores (2014) demonstraram que jogadores de melhor nível competitivo tendem a apresentar maior

regularidade no modo como se afastam e aproximam do seu *locus* de referência espacial. Também nesta linha de raciocínio, Sampaio e Maças (2012) demonstraram que os jogadores tendem a ser mais regulares com o aumento da experiência na tarefa e do conhecimento do jogo. Neste sentido, o aumento da regularidade nos momentos antecedentes à substituição poderia não justificar, por si só, a necessidade de substituir os jogadores em questão. Contudo, a diferente tendência encontrada entre médios e avançados carece de investigação futura sobre a especificidade da missão tática de cada jogador (Carling et al., 2010; Castelo, 1994; Di Salvo et al., 2007), uma vez que até hoje esta investigação apenas se tem dedicado às exigências físicas de cada posição.

No que diz respeito às variáveis físicas, os médios tenderam a diminuir a distância total percorrida, assim como a distância percorrida a alta intensidade, moderada intensidade e baixa intensidade. Nos extremos verificou-se a mesma tendência, na distância total percorrida, e nas categorias de moderada e baixa intensidade. Esta tendência vai ao encontro do estudo de Bradley e colaboradores (2011), que concluiu que a performance física diminui da primeira para a segunda parte. Estes resultados diferem dos resultados obtidos por Carling e colaboradores (2010), que não obteve diferenças entre os dois momentos para nenhuma das posições.

Contrariamente à sua conclusão de que as substituições ocorreriam essencialmente por motivações táticas, os nossos resultados sugerem que a percepção do declínio no rendimento físico pode ser também um fator potencialmente influenciador da decisão dos treinadores.

No que respeita à relação entre os fatores físicos e táticos, Duarte e colaboradores (2013) demonstraram que a fadiga pode motivar a tendência para a estabilização da organização de equipas desportivas, tornando os seus comportamentos coletivos menos complexos e previsíveis. Esta demonstração verifica-se no caso dos jogadores das posições de médio centro onde se verificou uma diminuição da imprevisibilidade da distribuição espacial e uma diminuição do rendimento físico.

Hipótese 2 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente face aos jogadores substituídos.

Na substituição dos avançados, os substituídos apresentaram uma maior magnitude de variação na distância média ao *locus*. Os avançados substituídos apresentaram também uma maior regularidade que os avançados que entraram para o seu lugar na variação da distância ao seu *locus* de referência espacial. Na linha dos estudos de Silva e colaboradores (2014) e Sampaio e Maçãs (2012) anteriormente discutidos, a menor regularidade do avançado substituto, por si só, pode não justificar o sucesso da substituição. Contudo, numa interpretação funcional do conceito de regularidade, é plausível que em certas circunstâncias do jogo, o treinador recorra à substituição para aumentar a irregularidade do comportamento individual dos seus avançados. O facto de não terem sido observadas diferenças no comportamento tático individual, entre os substituídos e os substitutos, nas posições de médios centro e extremos, ajudam a justificar esta hipótese.

Na substituição dos médios centros e dos extremos, os substitutos apresentaram uma maior distância total percorrida e nas categorias de maior intensidade. Da mesma maneira, Bradley e colaboradores (2011) demonstraram que os jogadores substitutos tendem a apresentar um melhor rendimento físico que os jogadores substituídos. Por outro lado, os resultados do presente estudo diferem dos obtidos por Carling e colaboradores (2010), no qual não foram observadas diferenças entre no padrão de deslocamento entre os jogadores substituídos e substitutos.

Contudo, no rendimento físico dos avançados, tal como observado por Carling e colaboradores (2010), não apresentou variação nas distâncias percorridas por parte dos jogadores substituídos e substitutos.

Pearce e Hughes (2001) demonstraram previamente que os substitutos tendem a apresentar melhores *performances* apenas em 37.5% dos casos, piores *performances* em 25% e ausência de variação da *performance* em 37.5% dos casos. Contudo, os nossos resultados sugerem que, apesar da limitada evidência de mudanças no comportamento tático individual antes e após a substituição (exceção feita aos avançados), o rendimento físico dos jogadores substitutos foi superior ao dos jogadores substituídos.

Hipótese 3 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos são significativamente diferentes dos jogadores da mesma posição que permanecem em campo.

No sentido de testar esta hipótese, selecionámos um jogador da mesma posição em campo do jogador substituído, que permaneceu em jogo. Nos 15 minutos após a substituição, foram comparados os valores deste jogador que permaneceu em campo com os valores do substituto. No que diz respeito às variáveis táticas, não se manifestaram diferenças significativas entre os substitutos e o jogador que se manteve em campo, após a substituição.

Contudo, os médios centro substitutos apresentaram uma maior distância total percorrida que o jogador da mesma posição que se manteve em campo. Este resultado vai ao encontro dos resultados preliminares encontrados por Carling e colaboradores (2010). Com a mesma tendência, os extremos substitutos, apresentaram maiores valores de distância total percorrida e distância percorrida nas categorias de alta intensidade e moderada intensidade. No caso dos avançados, esta tendência verificou-se apenas na distância percorrida na categoria de *sprint*. Esta tendência, relativamente comum às três posições em campo analisadas, são concordantes com os resultados encontrados por Mohr e colaboradores (2003) e de Bradley, Lago-Penas e Rey (2014), onde os jogadores substitutos apresentam uma maior rendimento físico que os jogadores que se mantiveram em campo. Concretamente, Mohr e colaboradores (2003) demonstraram que, durante os últimos minutos de jogo, a distância percorrida nas categorias de alta intensidade são superiores em 25% nos jogadores substitutos do que nos jogadores que permaneceram em campo. Na mesma linha, alguns estudos anteriores observaram que, ao longo do jogo, tende a ocorrer uma diminuição da distância total percorrida e da distância percorrida nas categorias de maior intensidade (Jens Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2003), o que pode ser um indicador de fadiga (Bradley & Noakes, 2013). Neste sentido, os resultados do presente estudo sugerem que os treinadores têm nas substituições uma estratégia que permite evitar a redução do rendimento físico dos jogadores.

Hipótese 4 - O comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores substitutos variam significativamente em relação aos períodos em que estes jogam na qualidade de titulares.

Os médios centro, na qualidade de titulares, apresentaram uma maior regularidade relativamente à variação da distância ao seu *locus* de referência espacial do que na qualidade de substitutos.

De acordo com Silva e colaboradores (2014) e Sampaio e Maçãs (2012), a maior regularidade no modo como se afastam e aproximam do seu *locus* de referência espacial poderá significar que nos primeiros 15 minutos dos jogos, os titulares tendem a conseguir uma maior estabilização dos seus comportamentos em jogo, do que nos períodos em que iniciam a sua atividade na qualidade de suplentes.

No que diz respeito às variáveis físicas, os médios centro, quando na qualidade de titulares, apresentaram maior rendimento na distância total e na categoria de *sprint*. Estes resultados contrariam as conclusões de Carling e colaboradores (2010), que não verificaram diferenças ao nível do rendimento físico dos médios, em função de serem titulares ou suplentes utilizados.

No caso dos avançados, a tendência encontrada foi idêntica à dos médios centro, divergindo parcialmente dos resultados encontrados por Carling e colaboradores (2010). No presente estudo, os avançados, quando na qualidade de titulares, apresentaram maiores valores de distância percorrida na categoria de trote (mais baixa intensidade de deslocamento), do que na qualidade de substitutos. Estes resultados sugerem menor intensidade de esforço dos avançados nos períodos iniciais do jogo, ao contrário dos resultados encontrados para os médios centro. Com base nos resultados do presente estudo, os avançados que participam no jogo como substitutos, parecem nem sempre utilizar o seu máximo rendimento físico, o que poderá justificar-se não apenas pela gestão do esforço feita por esses jogadores, mas essencialmente pelas características do estilo de jogo associado aos momentos da substituição. Ainda assim, é importante ter em consideração a demonstração de Carling e colaboradores (2008) em que as atividades de maior intensidade apresentam-se geralmente superiores nos primeiros 15 minutos iniciais de jogo. Contudo, a literatura não é completamente unânime a este respeito. Por exemplo, Bradley e colaboradores (2014) concluíram que a intensidade de

esforço dos substitutos, produzido na segunda parte, tende a não variar relativamente aos jogos em que atuam na primeira parte na qualidade de titulares. Em certa medida, isto pode sugerir que entrar na segunda parte do jogo poderá requisitar intensidades de esforço semelhantes às do início do jogo. No presente estudo, as substituições dos jogadores Extremos apresentaram esta tendência.

Por outro lado, Carling (2013) questiona a tradicional interpretação dada ao estudo do rendimento dos jogadores a partir de dados tempo-movimento, precisamente porque não é expectável que as exigências físicas impostas aos jogadores sejam sempre as mesmas ao longo de todo o jogo. Desta forma, o facto de os médios centro apresentarem melhor rendimento físico quando na qualidade de titulares, comparativamente a quando jogam na qualidade de substitutos, pode ser justificado pelas maiores exigências físicas inerentes aos primeiros minutos do jogo, mas também pela progressiva coadaptação dos jogadores com o decorrer do tempo, tal como sugerido em alguns trabalhos anteriores (Ricardo Duarte et al., 2013; Duarte et al., 2012)

Hipótese 5 - O comportamento táctico individual e o rendimento físico dos dois jogadores posicionalmente mais próximos ao jogador substituído/substituto variam significativamente com a substituição.

Para testar esta hipótese, foram seleccionados os dois jogadores mais próximos ao jogador substituído através da observação vídeo do jogo. Posteriormente, comparou-se o seu comportamento táctico e rendimento físico nos 15 minutos antes e nos 15 minutos após a substituição. Para as substituições de médios centro, os dois jogadores posicionalmente mais próximos tenderam a diminuir a imprevisibilidade da sua distribuição no espaço de jogo. Estes resultados poderão hipoteticamente dever-se a uma maior estabilização dos posicionamentos dos jogadores mais próximos ao substituto, no sentido de viabilizar comportamentos mais imprevisíveis do jogador substituto.

Por outro lado, após a substituição dos médios centros, verificou-se uma tendência para os dois jogadores mais próximos diminuírem a sua distância média ao *locus* de referência espacial. Silva e colaboradores (2014) demonstraram que os jogadores de nível competitivo mais elevado apresentam maiores valores de distância ao seu *locus* de referência espacial e com variações mais regulares, quando comparados a jogadores de

nível inferior. Contudo, estes resultados corroboram a ideia de que os jogadores posicionalmente mais próximos ao substituto tenderão a estabilizar e tornar o seu comportamento mais regular, eventualmente com o objetivo de permitir uma exploração da imprevisibilidade do jogador substituído.

Ao nível do rendimento físico, os dois jogadores mais próximos aos médios substituídos, apresentam uma diminuição da distância na categoria de moderada intensidade.

A distância percorrida pelos dois jogadores mais próximos dos avançados substituídos, tendeu a diminuir na categoria de *sprint* e de alta intensidade nos momentos posteriores à substituição.

Pearce e Hughes (2001) concluíram que em 60% das substituições ocorreu um impacto positivo na equipa.

Os resultados analisados nesta hipótese 5 sugerem uma diminuição do rendimento dos jogadores posicionalmente mais próximos aos médios centro e avançados substituídos. Contudo, estes resultados podem dever-se a uma estratégia de gestão do próprio esforço e da tentativa de exploração da imprevisibilidade que o comportamento do substituto pode trazer ao jogo.

V – Conclusões

Face às hipóteses levantadas no início do trabalho, podemos afirmar que:

1. Na hipótese 1, podemos concluir que o comportamento tático individual e o rendimento físico dos médios centro substitutos variam significativamente entre o período inicial do jogo e o momento anterior à substituição, mostrando-se como uma justificação válida para a respetiva substituição;
2. Na hipótese 2, podemos concluir que o comportamento tático individual dos jogadores avançados substitutos é significativamente diferente do comportamento tático individual do jogador substituído. Por sua vez o, tendo em atenção o rendimento físico dos jogadores médios centro e extremos, permite-nos também confirmar a hipótese. Assim, mostra-se válido justificar a substituição dos avançados devido a fatores inerentes ao comportamento tático e a substituição dos médios centro e extremos devido a fatores inerentes ao rendimento físico;
3. Na hipótese 3, podemos concluir que o padrão e deslocamento do jogador substituto é significativamente diferente do padrão e deslocamento dos jogadores da mesma posição que permaneceram em campo, nas três posições em análise. Desta forma, confirmamos a hipótese apenas para a análise do comportamento físico dos jogadores;
4. Na hipótese 4, podemos concluir que o comportamento tático individual dos avançados substitutos é significativamente diferente nos períodos em que iniciam os jogos e na qualidade de titulares. Por sua vez, tendo em atenção o rendimento físico dos médios centro e avançados, permite-nos também confirmar a hipótese;
5. Na hipótese 5, o comportamento tático individual e o rendimento físico dos jogadores posicionalmente mais próximos à substituição dos médios centro, variam significativamente nos períodos anteriores e posteriores à substituição. Do mesmo modo, para o rendimento físico dos dois jogadores posicionalmente mais próximos à substituição, a hipótese verifica-se na substituição dos avançados.

Percebemos desta forma que à luz de motivações táticas, as substituições de médios centro e avançados justificam-se como forma de acrescentar ao jogo uma maior variação nos comportamentos táticos dos jogadores.

Por sua vez, à luz de motivações físicas, as substituições de médios centro e extremos justificam-se como forma de aumentar o rendimento físico dos jogadores

Referências

- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674. doi:10.1080/02640410500482529
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorso, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Journal of Sports Science*, 16, 110-116.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., . . . Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 821-830. doi:10.1080/02640414.2011.561868
- Bradley, P. S., Lago-Penas, C., & Rey, E. (2014). Evaluation of the match performances of substitution players in elite soccer. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(3), 415-424. doi:10.1123/ijsp.2013-0304
- Bradley, P. S., & Noakes, T. D. (2013). Match running performance fluctuations in elite soccer: Indicative of fatigue, pacing or situational influences? *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1627-1638. doi:10.1080/02640414.2013.796062
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159-168. doi:10.1080/02640410802512775
- Carling, C. (2013). Interpreting Physical Performance in Professional Soccer Match-Play: Should We be More Pragmatic in Our Approach? *Sports Medicine*, 43(8), 655-663. doi:10.1007/s40279-013-0055-8
- Carling, C., & Bloomfield, J. (2010). The effect of an early dismissal on player work-rate in a professional soccer match. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 126-128. doi:DOI 10.1016/j.jsams.2008.09.004
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The Role of Motion Analysis in Elite Soccer: Contemporary Performance Measurement Techniques and Work Rate Data. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=35276421&site=ehost-live&scope=site>
- Carling, C., & Dupont, G. (2010). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 63-71. doi:10.1080/02640414.2010.521945

- Carling, C., Espi  , V., Le Gall, F., Bloomfield, J., & Jullien, H. (2010). Work-rate of substitutes in elite soccer: A preliminary study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 253-255. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2009.02.012>
- Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2005). *Handbook of Soccer Match Analysis: A Systematic Approach to Improving Performance*: Routledge.
- Castellano, J., Alvarez-Pastor, D., & Bradley, P. (2014). Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco   and Prozone  ) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 44(5), 701-712. doi:10.1007/s40279-014-0144-3
- Castellano, J., Álvarez, D., Figueira, B., Coutinho, D., & Sampaio, J. (2013). Identifying the effects from the quality of opposition in a Football team positioning strategy. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(3), 822-832. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa/2013/00000013/00000003/art00021>
- Castelo, J. (1994). *Futebol: Modelo técnico-táctico de jogo*: Universidade T  cnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana.
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33(4), 245-260.
- Del Corral, J., Barros, C., & Prieto-Rodríguez, J. (2007). The Determinants of Soccer Player Substitutions: A Survival Analysis of the Spanish Soccer League. *Journal of Sports Economics*, 9(2), 160-172. doi:citeulike-article-id:6677719
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227. doi:DOI 10.1055/s-2006-924294
- Di Salvo, V., Collins, A., McNeill, B., & Cardinale, M. (2006). Validation of Prozone   : A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa/2006/00000006/00000001/art00011>
- Duarte, R., Araujo, D., Folgado, H., Esteves, P., Marques, P., & Davids, K. (2013). Capturing complex, non-linear team behaviours during competitive football performance. *Journal of Systems Science & Complexity*, 26(1), 62-72. doi:DOI 10.1007/s11424-013-2290-3
- Duarte, R., Araújo, D., Folgado, H., Esteves, P., Marques, P., & Davids, K. (2013). Capturing complex, non-linear team behaviours during competitive football performance. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 62-72. doi:10.1007/s11424-013-2290-3

- Duarte, R., Araujo, D., Freire, L., Folgado, H., Fernandes, O., & Davids, K. (2012). Intra- and inter-group coordination patterns reveal collective behaviors of football players near the scoring zone. *Hum Mov Sci*, 31(6), 1639-1651. doi:10.1016/j.humov.2012.03.001
- Folgado, H., Gonçalves, B., Abade, E., & Sampaio, J. (2014). Breve Reseña de Investigación y de las Aplicaciones que Utilizan con Datos Posicionales de Futbolistas. *Kronos*, 13(1), 1-4.
- Frencken, W., Lemmink, K., & Delleman, N. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 641-645. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>
- Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N., & Visscher, C. (2011). Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European Journal of Sport Science*, 11(4), 215-223. doi:10.1080/17461391.2010.499967
- Frencken, W., Poel, H. d., Visscher, C., & Lemmink, K. (2012). Variability of inter-team distances associated with match events in elite-standard soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(12), 1207-1213. doi:10.1080/02640414.2012.703783
- Frencken, W., Van der Plaats, J., Visscher, C., & Lemmink, K. (2013). Size matters: Pitch dimensions constrain interactive team behaviour in soccer. *Journal of Systems Science & Complexity*, 26(1), 85-93. doi:DOI 10.1007/s11424-013-2284-1
- Grassberger, P., Schreiber, T., & Schaffrath, C. (1991). NONLINEAR TIME SEQUENCE ANALYSIS. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 01(03), 521-547. doi:10.1142/S0218127491000403
- Grehaigne, J.-F., Bouthier, D., & David, B. (1997). Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 15(2), 137-149. doi:10.1080/026404197367416
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement Variability and the Use of Nonlinear Tools: Principles to Guide Physical Therapist Practice. *Physical Therapy*, 89(3), 267-282. doi:10.2522/ptj.20080130
- Lees, A., & Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 211-234. doi:10.1080/026404198366740
- Leser, R., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(10), 9778-9797. doi:10.3390/s111009778
- Liebermann, D. G., Katz, L., Hughes, M. D., Bartlett, R. M., McClements, J., & Franks, I. M. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 755-769. doi:10.1080/026404102320675611

- MacLeod, H., Morris, J., Nevill, A., & Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 121-128. doi:10.1080/02640410802422181
- McGarry, T. (2005). *Soccer as a Dynamical System: Some Theoretical Considerations* (T. Reilly & D. Araujo Eds.). London: Routledge.
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 771-781. doi:10.1080/026404102320675620
- McGarry, T., Khan, M. A., & Franks, I. M. (1999). On the presence and absence of behavioural traits in sport: An example from championship squash match-play. *Journal of Sports Sciences*, 17(4), 297-311. doi:10.1080/026404199366019
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593-599. doi:10.1080/02640410400021286
- Passos, P., Milho, J., Fonseca, S., Borges, J., Araújo, D., & Davids, K. (2011). Interpersonal Distance Regulates Functional Grouping Tendencies of Agents in Team Sports. *Journal of Motor Behavior*, 43(2), 155-163. doi:10.1080/00222895.2011.552078
- Pearce, M., & Hughes, M. (2001). *Substitutions in Euro 2000* (M. D. Hughes ed.). Centre for Performance Analysis: UWIC, Cardif.
- Pukénas, K., Poderys, J., & Gulbinas, R. (2012). Measuring the complexity of a physiological time series: A review. *Education. Physical Training. Sports*, 84, 48-54.
- Reilly, T., Drust, B., & Clarke, N. (2008). Muscle Fatigue during Football Match-Play. *Sports Medicine*, 38(5), 357-367. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=34400227&site=ehost-live&scope=site>
- Rey, E., Lago-Ballesteros, J., & Padrón-Cabo, A. (2015). Timing and tactical analysis of player substitutions in the UEFA Champions League. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 840-850. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ijpa/2015/00000015/00000003/art00008>
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039-H2049. Retrieved from <http://ajpheart.physiology.org/content/278/6/H2039.abstract>

- Salvo, V. D., Collins, A., McNeill, B., & Cardinale, M. (2006). Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa/2006/00000006/00000001/art00011>
- Sampaio, J., Lago, C., Gonçalves, B., Maças, V., & Leite, N. (2013). Effects of pacing, status and unbalance in time motion variables, heart rate and tactical behaviour when playing 5-a-side football small-sided games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(2), 229-233. doi:10.1016/j.jsams.2013.04.005
- Sampaio, J., & Maças, V. (2012). Measuring Tactical Behaviour in Football. *International Journal of Sports Medicine*, 33(05), 395-401. doi:10.1055/s-0031-1301320
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
- Silva, P., Aguiar, P., Duarte, R., Davids, K., Araújo, D., & Garganta, J. (2014). Effects of Pitch Size and Skill Level on Tactical Behaviours of Association Football Players During Small-Sided and Conditioned Games. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(5), 993-1006.
- Sivils, K. (2009). *Game Strategies and Tactics for Basketball: Bench Coaching for Success*: Dog Ear Publishing.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer: An Update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=17434700&site=ehost-live&scope=site>
- Travassos, B., Vilar, L., Araújo, D., & McGarry, T. (2014). Tactical performance changes with equal vs unequal numbers of players in small-sided football games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 594-605. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa/2014/00000014/00000002/art00021>